Formation des enseignants et nouvelles technologies

Hamid Chaachoua, Equipe MeTAH,
Laboratoire Informatique de Grenoble (LIG),
Université de Grenoble
Institut Universitaire de Formation des Maîtres de Grenoble
Hamid.Chaachoua.imag.fr

Introduction

Depuis plus de 30 ans et dans de nombreux pays, nous constatons une politique institutionnelle pour promouvoir l'intégration des Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignant TICE dans l'enseignement et en particulier celui des mathématiques. Artigue (1997) donne quelques indices de cette politique dans le cas de France : emploi obligatoire des calculatrices dans l'enseignement secondaire depuis 1980, politique de licence mixte, diffusion de grande ampleur de documents …

De plus, on peut souligner l'évolution des programmes en faveur de l'intégration des TICE dans l'enseignement des mathématiques.

Sur le terrain, l'intégration des TICE n'est pas à la hauteur de la demande institutionnelle et l'usage des TICE rencontre une certaine résistance chez les enseignants de mathématiques. Cette résistance n'est pas due seulement à une connaissance technique de l'outil informatique que les enseignants ne possèdent pas encore, mais aussi à d'autres facteurs liés à la gestion de la classe, à la conception des situations d'enseignement ….

Dans ce texte, nous allons d'abord présenter quelques obstacles à l'intégration des TICE identifiés dans certains travaux de recherche, puis nous décrirons l'évolution de l'intégration des TICE en France comme étude de cas. Ensuite, nous donnerons quelques repères et cadres théoriques pour étudier les questions d'intégration des TICE et enfin nous présenterons un modèle pour penser et analyser la formation des enseignants.

1. Obstacles à l'intégration des TICE

Dans ce paragraphe nous caractérisons certains obstacles identifiés par des recherches déjà menées

De l'ensemble des obstacles présentés par Artigue (1998), nous retenons les deux suivants :

- The 'educationnal legitimacy' of computer technologies
- The underestimation of issues linked to the computer transposition of mathematical knowledge

Le premier obstacle concerne les enseignants : il réside dans la nécessaire justification *a priori* de l'apport des TICE dans l'enseignement des mathématiques. Sans expérience ni références personnelles quant à l'efficacité, pour l'apprentissage, d'activités conduites dans un environnement informatique, un enseignant hésite toujours fortement à accorder un temps important à un travail qui peut lui apparaître comme relativement marginal par rapport au programme. Il est indispensable pour lui de comprendre la pertinence de ce type d'activités. Nous pensons que ce n'est pas par le discours qu'on apportera des réponses à cette demande, mais en donnant aux enseignants les moyens de se rendre compte par eux-mêmes des apports de l'usage d'un environnement informatique au niveau des objectifs de l'enseignement des mathématiques.

Le second obstacle est lié aux effets de la transposition informatique, concept introduit par Balacheff (1994). Les objets de savoir se trouvent modifiés non seulement sous les contraintes de la transposition didactique mais aussi sous d'autres contraintes spécifiques à l'environnement informatique. L'introduction des environnements informatiques dans le système d'enseignement peut donc modifier les rapports des sujets, élèves et enseignants, aux objets mathématiques puisque ces derniers vont vivre autrement que dans l'environnement papier - crayon. Les environnements informatiques peuvent ainsi offrir des possibilités pour la vie des objets d'enseignement que d'autres environnements, comme papier - crayon, ne peuvent pas offrir.

Considérons l'exemple du logiciel Aplusix (Nicaud et al., 2004) sur l'algèbre élémentaire. L'objectif pour l'élève est de résoudre, comme sur le papier, des exercices d'algèbre en produisant, ligne de calcul après ligne de calcul, les différents pas de son raisonnement algébrique. Le cadre mathématique est celui de la résolution par équivalence : l'élève doit, à chaque étape, donner une expression algébrique équivalente à l'expression précédente. Le logiciel fournit des rétroactions à l'élève sur l'exactitude de ses pas de calcul.

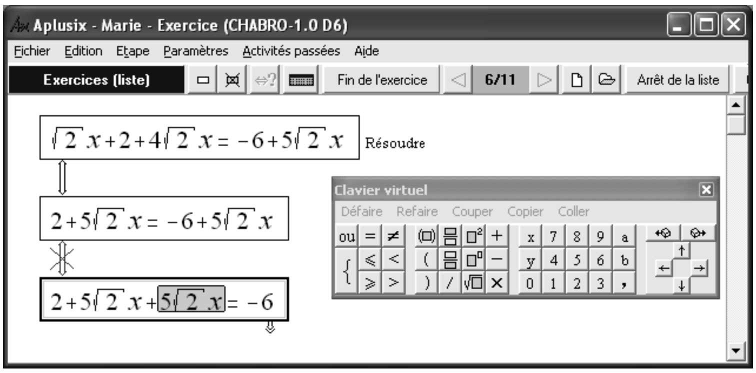


Figure 1. Sur cette copie d'écran, trois expressions ont été écrites. Les deux premières sont équivalentes tandis que les deux dernières ne le sont pas, comme l'indique le signe d'équivalence barré.

Cette rétroaction est fondée sur la dimension sémantique telle qu'elle a été choisie dans Aplusix. Si ce choix est transparent pour la transformation des expressions algébriques, il peut être à l'origine d'un phénomène de double référence définie par Artigue (1997) : la référence au logiciel Aplusix et celle à l'enseignement usuel. En effet, dans le cas des équations, Aplusix affiche l'équivalence suivante : $2x^2 = -1 \Leftrightarrow 2x^2 = -4$, étant donné que les deux équations ont le même ensemble de solutions. Cette situation a souvent été source de non compréhension chez les élèves mais aussi chez les enseignants dont certains nous ont contactés pour signaler un bug du logiciel ! Les arguments avancés par les enseignants étaient qu'il n'y a aucune transformation algébrique sur les égalités permettant de passer de l'une à l'autre, nous retrouvons le problème de la légitimité institutionnelle (Artigue 1997). Notons, qu'une fois que l'explication sur l'équivalence des équations est donnée aux enseignants, ils adhèrent sur le plan mathématique mais certains continuent à manifester une certaine gêne pour les élèves. Ceci peut être également interprété par un décalage entre la transposition didactique de la résolution des équations dans l'enseignement du Collège en France et la transposition informatique. En effet, le travail mathématique sur l'équivalence des équations est quasi absent de l'enseignement du Collège, seules les opérations qui conservent les égalités sont étudiées pour justifier les techniques de résolution. Ces relations assurent l'équivalence des équations, mais pour les enseignants ayant participé aux expérimentations, deux équations sont équivalentes si et seulement si on peut passer de l'une à l'autre par une de ces opérations. Nous pensons, que ce type de situation peut être une occasion pour travailler avec les élèves le sens des équivalences des équations.

Les modifications des objets d'enseignement peuvent soulever la question de la légitimité d'inclure dans l'enseignement ces objets modifiés mais interrogent aussi sur la nature des apprentissages impliqués. Laborde (1998) apporte une réponse à cette question en prenant en compte le rôle que joue le contexte d'usage des objets mathématiques pour contribuer à donner du sens à ces objets :

> […] plus qu'à la décontextualisation des concepts construits dans leur usage, il importe de porter attention à l'usage même en contexte, à ce qu'il favorise comme signification de l'objet et comme potentialités de relation avec d'autres contextes. (Laborde, 1998, p. 90).

Cela montre l'importance de proposer aux élèves des situations où les objets mathématiques sont mis en contexte et qui prennent en compte les spécificités de l'environnement informatique *a priori* différentes de l'environnement papier - crayon.

Le rapport des enseignants à un objet d'enseignement qui vit dans un environnement informatique dépend de leur rapport à l'objet « environnement informatique » lui-même : en particulier, si l'enseignant accepte ou non qu'un objet puisse vivre différemment dans l'environnement « informatique » que dans l'environnement « papier - crayon » (Chaachoua, 1997). Ainsi, le rapport de l'enseignant à l'environnement informatique va être déterminant pour la réussite de l'intégration des nouvelles technologies. Sur ce point Laborde et al. (1997) ont explicité certaines conceptions des enseignants pouvant faire obstacle à l'intégration de l'outil informatique :

> Certains enseignants ne peuvent concevoir d'enseigner en utilisant l'outil informatique sans en avoir une maîtrise complète. Cette maîtrise représente pour eux un investissement en temps et qu'ils ne pourront donc s'y investir que s'ils sont convaincus de l'apport de ces outils en termes d'apprentissage. Les enseignants ont souvent du mal à accepter l'idée que les élèves puissent être plus à l'aise avec un ordinateur qu'ils ne le sont eux-mêmes. Ils redoutent aussi de ne pas arriver à gérer convenablement une réelle autonomie des élèves qui réagissent individuellement face à l'écran en tenant compte des sollicitations qu'ils obtiennent du système. L'outil informatique incite à proposer aux élèves une démarche quasi expérimentale en mathématique. Or une telle approche des différentes notions peut permettre certes à un plus grand nombre de mieux comprendre les notions étudiées mais elle nécessite du temps. Or, le manque de temps reste le souci majeur de la plus grande partie des enseignants de mathématiques.
>
> Certains enseignants peuvent avoir des difficultés à percevoir quel peut être leur rôle d'enseignant lors de l'exploitation d'un logiciel d'apprentissage. (ibid. p. xix).

Ce qui est attendu des enseignants n'est pas la seule utilisation des TICE, mais leur réelle intégration dans la pratique qui s'exprime par

> un changement en profondeur de la conception de l'enseignement, tant dans la présentation des contenus mêmes d'enseignement que dans les formes d'activités. (Laborde, 1998, p.80).

Notre hypothèse est que l'intégration des TICE ne peut être réussie que si la formation des enseignants prend en compte les questions sous-jacentes à l'intégration des TICE, en se donnant les moyens didactiques d'étudier ces questions.

2. Une intégration lente

A partir de l'étude de cas de la France nous allons décrire ce que peuvent être les grandes étapes du processus d'intégration des TICE dans l'enseignement des mathématiques.

Dès les années 1980, est mise en place une politique d'équipement en ordinateurs des établissements scolaires et corrélativement la formation continue des enseignants aux logiciels éducatifs. L'utilisation de la calculatrice devient obligatoire dès le collège. Les programmes font référence à l'utilisation de logiciels mais sans donner de précisions sur le contenu. Le constat est que les salles informatiques sont sous exploités par les enseignants de mathématiques. *Au début des années 1990,* le ministère finance des projets de recherche sur l'intégration *des* TICE qui vont être moteurs pour d'autres recherches développées sur ce thème mais en marge de ces projets. Ces recherches vont confirmer la réticence des enseignants à l'intégration des TICE dans leurs enseignement en identifiant certains usages chez des enseignants comme le souligne Laborde (2001).

> Le logiciel était essentiellement utilisé comme un amplificateur pour visualiser des propriétés, mais pas vraiment la source de la tâche donnée à l'élève, ni comme un outil pour résoudre la tâche.

Les programmes de mathématiques mis en place en 1996 affichent une volonté explicite d'intégration des nouvelles technologies que ce soit au niveau du collège qu'à celui du lycée.

Dès la classe de sixième (11-12 ans), les documents d'accompagnement des programmes consacrent un paragraphe sur la nécessité de l'usage et de la maîtrise par les élèves non seulement des calculatrices mais aussi des ordinateurs. Deux raisons sont données pour justifier le travail avec les ordinateurs. Ce sont des outils quotidiens du monde actuel et ils sont particulièrement bien adaptés aux mathématiques. Les programmes montrent cette pertinence d'usage dans l'enseignement mathématique, en indiquant de plus pour certains contenus d'enseignement le type d'usage des TICE et leur apport spécifique à l'apprentissage mathématique.

La présentation générale du programme de Seconde (15-16 ans) est tout aussi incisive, sinon plus. Non seulement les logiciels sont entrés dans la vie quotidienne de tous, affirment-ils, mais aussi ils transforment profondément l'activité mathématique. Citons les :

> L'informatique, devenue aujourd'hui absolument incontournable, permet de rechercher et d'observer des lois expérimentales dans deux champs naturels d'application interne des mathématiques : les nombres et les figures du plan et de l'espace. Cette possibilité d'expérimenter, classiquement plus propre aux autres disciplines, doit ouvrir largement la dialectique entre l'observation et la démonstration, et, sans doute à terme, changer profondément la nature de l'enseignement.

Si les programmes précédents (1985 puis 1990) avaient donné une place importante aux calculatrices, les nouveaux programmes se démarquent, en accentuant l'intégration de logiciels. Trois types de logiciels sont mentionnés par les programmes :

- les logiciels de construction géométrique

- les tableurs-grapheurs

- les logiciels de calcul symbolique.

Un travail approfondi de réflexion relativement aux contenus à enseigner se fait jour dans les programmes, qui mentionnent de façon précise le type d'activités où peut être inséré l'usage de logiciels. Les logiciels de construction géométrique sont à utiliser évidemment dans les tâches de construction dès la 6ème (12-13 ans) car ils préparent à l'apprentissage de la notion de figure géométrique et à plus long terme à celui de la démonstration. En effet, la démonstration ne peut se satisfaire de propriétés reconnues par la perception sur un dessin mais exige l'emploi de propriétés géométriques explicitement données ou déduites à partir des données.

L'usage indiqué des tableurs est celui d'introduire la notion de variable et de formule en algèbre. Il est associé à l'arithmétique nouvellement introduite, en particulier à l'algorithme d'Euclide. Il est de plus fortement intégré à l'enseignement des statistiques comme permettant de gérer un grand nombre de données et de les représenter de différentes façons grâce aux grapheurs qui lui sont associés. Les tableurs sont aussi reliés à la notion de fonction, voire à la programmation des valeurs d'une fonction, les systèmes de calcul symbolique à la résolution de systèmes d'équations.

Outre ce travail précis mené sur les contenus par les programmes, ce qui nous paraît révélateur est l'accent mis sur la transformation de l'activité mathématique dans les classes de lycée. Il devient possible d'explorer, d'expérimenter en mathématiques comme dans les autres sciences, ainsi l'enseignement des mathématiques doit contribuer largement à la dialectique entre l'observation et la démonstration, et, sans doute à terme, changer profondément la nature de l'enseignement.

> L'apprentissage des mathématiques ne peut se construire sur une acquisition purement formelle de définitions et de résultats, de techniques et d'algorithmes. […] Ainsi l'enseignement des mathématiques peut, dans ce cadre, utiliser avec profit des expérimentations diverses sur les objets qu'elles étudient comme les nombres ou les figures géométriques, et donc contribuer à la formation scientifique des élèves. (Accompagnement du programme de 3e, 2004)

Par rapport à ces nouveaux enjeux des programmes l'outil informatique trouve toute sa légitimité pour apporter à l'enseignement des mathématiques un aspect expérimental permettant ainsi de modifier l'approche des notions.

Cette décennie va être marquée par l'évolution des types d'activités dans les manuels scolaires où nous passons d'exercices où l'utilisation d'un logiciel était préconisée mais non nécessaire à sa résolution, à des exercices où les TICE sont un véritable apport.

En 2005, le ministère propose la mise en place, à titre expérimental, d'une épreuve pratique au baccalauréat qui a pour objectif d'évaluer les compétences des élèves dans l'utilisation des calculatrices et de certains logiciels spécifiques aux mathématiques. Plus précisément on cherche à évaluer la capacité à mobiliser les TICE pour résoudre un problème mathématique. Pour cela, il est spécifié que les sujets proposés aux candidats sont des exercices où l'utilisation des TICE intervient de manière significative dans la résolution. Un exemple de sujet est présenté en annexe 1. Dans chaque sujet, on explicite des compétences TICE et des compétences mathématiques qui seront à évaluer.

L'introduction de cette nouvelle épreuve est une façon de forcer l'intégration des TICE dans l'enseignement des mathématiques au lycée car la nature et le contenu de l’épreuve du baccalauréat sont déterminants sur la pratique des enseignants en terme de mise en œuvre des programmes (Tran Luong 2006).

Malheureusement, ce projet a été abandonné pour des raisons liées aux coûts de sa mise en oeuvre à l’échelle nationale.

A partir de 2005, on introduit des questions didactiques sur l’usage des TICE dans le concours de recrutement des enseignants de mathématiques[1]. Les questions du jury portent sur l’analyse d’une activité en termes d’apports d’un type de logiciel et sur la proposition d’une activité par le candidat où l’utilisation d’un logiciel est pertinente.

En annexe 2, on trouvera un exemple d’une telle épreuve. Dans cette épreuve, sont fournis aux candidats deux exercices accompagnés des questions du jury. Dans ce sujet, la deuxième question demande au candidat de citer différents logiciels permettant d’émettre une conjecture sur une solution de l’exercice proposé du manuel. Pour traiter cette question, le candidat doit avoir des connaissances sur les différents types de logiciels permettant de produire une conjecture, mais aussi des compétences lui permettant de faire le lien entre le type de modélisations possibles du problème et les spécificités des logiciels. En effet, si on choisit un logiciel du type « grapheur », on dispose de la fonction pour modéliser le problème, mais si on choisit un logiciel de géométrie dynamique, il n’est pas nécessaire d’expliciter cette fonction puisqu’il suffit de traduire géométriquement dans l’environnement les relations entre les objets de la situation. Ainsi, on voit que le candidat doit avoir une maîtrise des potentialités didactiques des logiciels. La deuxième partie de la question demande au candidat de développer la mise en œuvre de l’un de ces logiciels.

Enfin, *depuis 2010* deux autres facteurs vont contribuer à l’intégration des TICE dans l’enseignement des mathématiques : l’introduction de la démarche d’investigation et la mise en place d’une certification des enseignants sur les TICE. Cette certification est nécessaire pour la titularisation des enseignants.

Nous avons illustré dans ce paragraphe le processus d’intégration des TICE dans l’enseignement des mathématiques de 1980 à nos jours. Face à la résistance des enseignants, différents dispositifs ont été mis en place par le ministère au niveau de la formation des enseignants et au niveau des programmes.

Ce processus met en évidence que ce qui est attendu des enseignants n'est pas la seule utilisation des TICE, mais leur réelle intégration dans la pratique qui s'exprime par

> un changement en profondeur de la conception de l'enseignement, tant dans la présentation des contenus mêmes d'enseignement que dans les formes d'activités. (Laborde, 1998, p.80).

[1] C’est un concours qui a lieu en 4ième année d’université.

Notre hypothèse est que l'intégration des TICE ne peut être réussie que si la formation des enseignants prend en compte les questions sous-jacentes à l'intégration des TICE, en se donnant les moyens didactiques d'étudier ces questions.

3. Recherches sur l'intégration des TICE

Un travail mené par Artigue et al. (2002) a été de synthétiser les résultats de recherches internationales sur les TICE. Un des premiers résultats est que si l'enseignant est un acteur central pour l'intégration des TICE, sa formation est très peu problématisée dans les recherches. Ainsi sur 662 publications relatives aux TICE seulement 5% portent sur la formation des enseignants. L'analyse de ces articles montre que la formation des enseignants est abordée le plus souvent sous la forme de comptes rendus d'actions de formation rarement enrichis d'analyse (*a priori* ou *a posteriori*).

A partir de 2000, des travaux de recherches sur la problématique de l'intégration des TICE dans l'enseignement des mathématiques vont se développer au niveau international. Au niveau des travaux français certains vont adopter une approche multidimensionnelle qui prend en compte la complexité de l'intégration des TICE (Artigue 2001, Trouche 2000, Tapan 2006). Mais deux approches vont s'imposer dans la plupart des travaux : l'approche instrumentale et l'approche anthropologique. L'approche instrumentale est elle même une conjonction de l'approche ergonomique de Rabardel (1999) et de l'approche anthropologique de Chevallard (1999).

Dans le prochain paragraphe nous nous plaçons dans l'approche anthropologique pour problématiser la formation des enseignants.

4. Un cadre théorique pour modéliser la problématique de la formation des enseignants

La théorie anthropologique du didactique considère que, en dernière instance, toute activité humaine consiste à *accomplir une tâche* t d'un certain *type* T, au moyen d'une *technique* τ, justifiée par une *technologie* θ qui permet en même temps de la *penser*, voire de la *produire*, et qui a son tour est *justifiable* par une *théorie* Θ.

En bref, elle part du postulat que toute activité humaine met en œuvre une organisation que Chevallard (1998) note $[T/\tau/\theta/\Theta]$ et qu'il nomme *praxéologie*, ou *organisation praxéologique*. $[T / \tau]$ étant la *pratique* – ou encore le *savoir-faire* ; $[\theta / \Theta]$ le *logos* – ou encore le *savoir*.

On parle de *praxéologie mathématique* – ou d'organisation mathématique – lorsque les types de tâches T relèvent des mathématiques, de *praxéologie didactique* – ou d'organisation didactique – lorsque les types de tâches T sont des types de tâches d'étude.

Nous considérons la formation des enseignants comme un institution où le sujet peut occuper deux positions, celle de stagiaire[2] et celle de formateur. Ici, nous nous intéressons aux types de tâches de formation qui portent sur la problématique de l'intégration des TICE dans l'enseignement des mathématiques. Considérons par exemple le type de tâches :

> Tf : Montrer aux stagiaires comment prendre en compte les spécificités d'un environnement informatique pour la conception d'une activité (ou une situation didactique).

A ce type de tâches est associée une technique τf :

> τf : Proposer un extrait d'un manuel (situation papier - crayon) autour d'un objectif et demander aux stagiaires de concevoir une activité dans un environnement informatique pour le même objectif.

Une technique du formateur consiste à proposer au stagiaire un type de tâches didactique comme

> Ts : concevoir une activité dans un environnement informatique pour le même objectif que celui de la situation papier crayon.

Ici, le stagiaire est en position « Enseignant ». Un exemple d'une tâche t_s de Ts est celle de la figure 2.

Une technique τ_s du stagiaire consiste à analyser l'extrait du manuel pour dégager les organisations didactiques et mathématiques : OD(manuel) et OM(manuel). Ce cette analyse, il doit construire de nouvelles praxéologies intégrant un logiciel de géométrie dynamique. Le stagiaire est amené ainsi à chercher ce que peut être un apport didactique pour les activités proposées dans le manuel. Ces nouvelles praxéologies doivent intégrer dans leurs technologies différents types de savoirs : mathématiques, didactique et sur les logiciels en tant qu'instruments.

Comme l'a montré Tapan (2006), l'intégration par un enseignant d'environnements informatiques embarquant des savoirs mathématiques fait appel de façon imbriquée au savoir mathématique, au savoir instrumental (savoir créer, manipuler… les objets mathématiques dans le logiciel) et au savoir didactique (relatif au savoir mathématique et aux apports du logiciel pour l'enseignement et l'apprentissage d'un savoir mathématique).

[2] Professeur stagiaire dans le cas de la formation initiale ou professeur expérimenté dans le cas de la formation contnue.

L’extrait d’un manuel suivant, propose une approche du théorème de Pythagore et sa réciproque.

2 Propriété de Pythagore

1. Observations

a. Si ABC est rectangle en A alors…

L'unité de longueur étant le centimètre, dans chacun des cas suivants :

– construire un triangle ABC rectangle en A tel que :

① AB = 8 ; AC = 6.
② BC = 13 ; AC = 5.
③ AB = 2,4 ; BC = 7,4 (on peut utiliser du papier millimétré).

– mesurer la longueur du côté qui n'est pas donné, puis calculer $AB^2 + AC^2$ et BC^2. Que constate-t-on ?

s curieux », p. 197.

b. Si… alors le triangle ABC est rectangle en A

L'unité de longueur étant le millimètre, dans chacun des cas suivants :

– construire un triangle ABC tel que :

① AB = 40 ; AC = 30 ; BC = 50.
② AB = 45 ; AC = 24 ; BC = 51.
③ AB = 48 ; AC = 20 ; BC = 52.

– vérifier que les nombres donnés sont tels que : $AB^2 + AC^2 = BC^2$;

– mesurer l'angle $\widehat{BAC}$ du triangle ABC. Que constate-t-on ?

CHAP. 10 : TRIANGLE RECTANGLE, COSINUS D'UN ANGLE 181

Concevoir une activité préparatoire intégrant l'environnement GD (géométrie dynamique) permettant une approche du théorème de Pythagore et de sa réciproque. Expliciter les différences éventuelles dans cette approche entre l'activité ci-dessous et votre propre proposition.

Figure 2. Exemple de type de tâche t_s de Ts

Si on fait l’hypothèse que les enseignants en formation maitrisent déjà le savoir mathématique à enseigner, la formation initiale des enseignants doit porter sur les praxéologies didactiques comme nous l’illustrons à partir de quelques exemples de types de tâches que les formateurs peuvent proposer aux formés.

- Construire une tâche mathématique où un logiciel donné peut être utilisé pour émettre une conjecture.

- Introduire une notion donnée à l’aide d’un logiciel spécifié ou à choisir.

- Etudier une notion dans un logiciel, donné ou à choisir, mobilisant plusieurs registres de représentation sémiotiques.

- Modifier une tâche donnée pour intégrer un logiciel donné.

- Choisir un logiciel adapté à un type de tâches didactique donné.

Autour de ces types de tâches, la formation des enseignants en tant qu’institution doit construire leurs praxéologies, à savoir leurs techniques et leurs technologies. La construction de ces dernières par l’institution peut s’appuyer sur les résultats de recherche en didactique des mathématiques, plus particulièrement sur les TICE. Par exemple, pour le type de tâches « Etudier une notion dans un logiciel, donné ou à choisir, mobilisant plusieurs registres de représentation sémiotiques. », le discours technologique va s'appuyer sur les résultats de travaux de recherche sur les registres de représentation sémiotiques, sur leur prise en compte dans certains logiciels… Cette technologie permettra de produire des éléments de la technique sur l'analyse du logiciel en termes de registres, plus particulièrement : le logiciel permet-il des activités de traitement dans tel ou tel registre, des activités de conversion d'un registre à un autre au sens de Duval (1993).

Conclusion

La formation, initiale et continue, des enseignants est un grand défi pour toutes les sociétés. Plusieurs recherches réalisées dans ce domaine se sont penchées sur l'étude et l'analyse des pratiques enseignantes. En particulier, sur le thème de l'intégration des nouvelles technologies dans la pratique des enseignants aussi bien comme outil d'aide à l'apprentissage que comme instrument d'aide au travail de l'enseignant.

Nous avons vu que si, d'une part, il y a des résultats de recherches significatifs sur les apports des logiciels de mathématiques en terme d'apprentissage humain, d'autre part des recherches montrent que les enseignants des divers niveaux de l'enseignement n'ont pas effectivement intégré les TICE dans leur pratique. Ceci malgré une forte volonté institutionnelle pour promouvoir l'intégration des TICE dans l'enseignement des mathématiques.

Intégrer un nouvel instrument dans l'enseignement exige des changements dans la pratique pédagogique. Ce qui est attendu des enseignants n'est pas la seule utilisation des TICE, mais leur réelle intégration dans la pratique qui s'exprime par

> « un changement en profondeur de la conception de l'enseignement, tant dans la présentation des contenus même d'enseignement que dans les formes d'activités » (Laborde, 1998, p.80).

A ce titre, nous constatons que depuis 2000 les manuels français ont parfaitement intégré des exercices utilisant et exploitant des potentialités des logiciels.

Nous utilisons le terme intégration dans le sens défini par Bittar (2011) qui le distingue d'insertion. Ce dernier fait référence à l'usage des TICE par l'enseignant sans que cela provoque pour autant des modifications du rapport de l'élève au savoir en jeu. En revanche, « l'intégration de cet instrument dans la pratique pédagogique de l'enseignant signifie que l'instrument fait partie des outils dont dispose l'enseignant pour atteindre ses objectifs. Ainsi son usage doit contribuer au processus d'apprentissage de l'élève, en lui permettant de comprendre, d'avoir accès et d'explorer différents aspects du savoir en jeu. » (Bittar, 2011, p. 159). L'intégration d'un outil par un enseignant dépend ainsi de sa formation. Si depuis 2000 les manuels français proposent certes des exercices utilisant et exploitant les potentialités de différents logiciels, il reste nécessaire que les enseignants soient préparés à l'utilisation de ces manuels et à l'intégration de ces logiciels dans leur pratique.

En plus de la légitimité institutionnelle, l'enseignant doit être convaincu de la légitimité didactique des TICE. Les enseignants, pour un travail avec les nouvelles technologies, envisagent beaucoup de difficultés liées à la gestion de classe, aux contraintes de temps avec un programme à terminer etc. Nous pouvons donc dire que, pour qu'un enseignant accepte de surmonter ces difficultés, il doit avoir des justifications internes (et non externes) de l'apport des TICE dans l'enseignement des mathématiques. Chaachoua et al. (2000) soulignent également cette demande de justification interne chez les enseignants et avance que ce n'est pas par le discours qu'on apportera des réponses à cette demande, mais en donnant aux enseignants les moyens de se rendre compte par eux-mêmes des apports de l'usage d'un environnement informatique au niveau des objectifs de l'enseignement des mathématiques.

Ainsi, les enseignants doivent s'approprier des outils offerts par les TICE, étudier les apports des TICE en terme d'apprentissage en lien avec les usages, développer des compétences pour préparer un cours avec les TICE... Nous pensons que les apports de ces connaissances et le développement de ces compétences relatives à l'intégration des TICE doivent s'appuyer et être accompagnées d'expériences significatives au niveau du terrain. D'où notre hypothèse que l'intégration des nouvelles technologies ne peut être réussie que si la formation initiale et continue des enseignants prend en compte les questions sous-jacentes à l'intégration des TICE, en se donnant les moyens didactiques d'étudier ces questions.

Bibliographie

ARTIGUE M. (1997) Le logiciel Derive comme révélateur de phénomènes didactiques liés à l'utilisation d'environnement informatiques pour l'apprentissage. *Educationnal Studies in Matematics*. 33.2. 133-169

ARTIGUE M. (1998) Teacher training as a key issue for the integration of computer technologies, In D. Tinsley and D. C. Johnson (ed.) *Information and communications technologies in school mathematics.* IFIP 98 Chapman and Hall. 121-129.

ARTIGUE M. (2001) Learning mathematics in a cas environment: the genesis of a reflection about instrumentation and the dialectics between technical and conceptual work. *Journal of Computers for Mathematical Learning*.

BALACHEFF N. (1994) La transposition informatique, un nouveau problème pour la didactique. In Artigue M. et al. (eds) *Vingt ans de didactique des mathématiques en France*. (pp.364-370). Grenoble : La Pensée Sauvage.

BITTAR M. (2011) A abordagem instrumental para o estudo da integração da tecnologia na prática pedagógica do professor de matemática. *Educar em Revista* (Impresso). , v.1/2011, p.157 - 171, 2011

CHAACHOUA H. ET AL (2001) *Usages éducatifs des technologies de l'information et de la communication : quelles nouvelles compétences pour les enseignants ?* Rapport de recherche INRP.

CHAACHOUA H. (1997) *Fonctions du dessin dans l'enseignement de la géométrie dans l'espace. Étude d'un cas : la vie des problèmes de construction et rapports des enseignants à ces problèmes.* Thèse. Grenoble: Université Joseph Fourier.

CHEVALLARD Y. (1999) L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 19(2) Grenoble : La Pensée Sauvage. 221-266.

DUVAL R. (1993) Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*. 5 37–65.

LABORDE C. (1998) Vers un usage banalisé de Cabri-géomètre avec la TI 92 en classe de Seconde : analyse des facteurs d'intégration. In *Actes du colloque Européen Francophone, 'Calculatrices Symboliques et géométriques et géométriques'*. La Grande-Motte.

LABORDE C. ET AL. (1997) *Compilation des documents utilisés du Projet 'Conception et évaluation de scénario d'enseignement avec Cabri-géomètre'*. Projet de l'équipe EIAH du Laboratoire Leibniz - U.J.F et de l'IUFM de Grenoble soutenu par la Région Rhône Alpes et l'INRP.

NICAUD J.F., BOUHINEAU D., CHAACHOUA H. (2004). Mixing Microworld and CAS Features for Building Computer Systems that Help Students to Learn Algebra. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*. Vol. 9. (pp. 169-211). Kluwer Academic Publisher.

RABARDEL P (1999) Eléments pour une approche instrumentale en didactique des mathématiques. *Actes de la Xème Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques*. Houlgate. vol I. 203-213.

TAPAN S. (2006) *Différents types de savoirs mis en œuvre dans la formation initiale d'enseignants de mathématiques à l'intégration de technologies de géométrie dynamique*. Thèse. Grenoble: Université Joseph Fourier.

TRAN LUONG C.K. (2006) *La notion d'intégrale dans l'enseignement mathématique au lycée : une étude comparative entre la France et le Viêt Nam.* Thèse en cotutelle France – Viêt Nam, Université Joseph Fourier et Université Pédagogique d'Ho Chi Minh Ville

TROUCHE L. (2000). La parabole du gaucher et de la casserole à bec verseur : étude des processus d'apprentissage dans un environnement de calculatrices symboliques. *Educational Studies in Mathematics*. 41. 239-264.

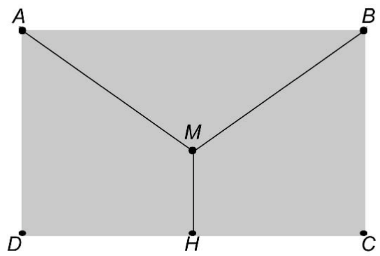
Annexe 1. Exemple d'un sujet de l'épreuve pratique de mathématiques

Problème d'optimisation

Situation

On décide de mettre en place un système de collecte des eaux de pluie sur la façade d'une maison. Sur cette façade, de forme rectangulaire, deux tuyaux obliques doivent récupérer les eaux de pluies pour les déverser dans un tuyau vertical aboutissant à un réservoir.

On donne ci-dessous le plan de cette façade.



Sur ce plan, (MH) est la médiatrice de $[DC]$.

Il s'agit de trouver, sur la façade de cette maison, la position du point M qui minimise la longueur totale des tuyaux.

Compétences évaluées

Compétences TICE
- Construire une figure avec un logiciel de géométrie dynamique ;
- Tester les conjectures émises ;
- Traduire, à l'aide du logiciel, une situation géométrique par un graphique.

Compétences mathématiques
- Émettre une conjecture en croisant des informations variées : observation d'une figure dynamique, données numériques et graphiques ;
- Élaborer une stratégie permettant de déterminer l'*extremum* d'une fonction.

Annexe 2. Exemple de sujet de concours de recrutement des enseignants de mathématiques

Thème : optimisation

L'exercice

À partir de l'extrait d'un manuel donné ci-dessous, un professeur a proposé à ses élèves l'exercice suivant :

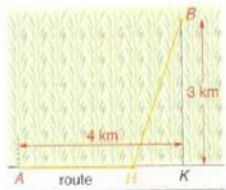
Soit f la fonction définie sur l'intervalle $[0;4]$ par :

$$f(x) = \frac{x}{40} + \frac{1}{20}\sqrt{x^2 - 8x + 25}$$

1. *Expliquez pourquoi la fonction f est dérivable et calculer sa dérivée.*
2. *Dressez le tableau de variation de f. Déterminer pour quelle valeur x_0 cette fonction admet un minimum.*
3. *Donnez les valeurs exactes, puis les valeurs approchées arrondies à 10^{-3} de x_0 et de $f(x_0)$.*

Un extrait de manuel

Une voiture 4×4 doit aller d'un point A situé sur une route à un point B en traversant un champ.



Sachant que sa vitesse sur la route est de 40 km · h^{-1}, et que sa vitesse à travers champs est de 20 km · h^{-1}, déterminer la position du point H pour que le temps mis pour aller de A à B soit minimal.

Déclic Terminale S - 2006

Le travail à exposer devant le jury

1- Comparez les compétences développées par les deux versions de l'exercice (professeur/manuel).

2- Citez différents logiciels permettant d'émettre une conjecture sur la solution de l'exercice du manuel et développez la mise en œuvre de l'un d'entre eux.

3- Proposez la correction de la question 2) de l'exercice du professeur comme vous la présenteriez à des élèves.

4- Présentez deux ou trois exercices sur le thème « optimisation ».